



21 Aktenzeichen: 199 46 837.0  
22 Anmeldetag: 30. 9. 1999  
43 Offenlegungstag: 3. 5. 2001

71 Anmelder:  
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

72 Erfinder:  
Sugg, Bertram, Dr., 70839 Gerlingen, DE; Boecking,  
Friedrich, 70499 Stuttgart, DE

55 Entgegenhaltungen:

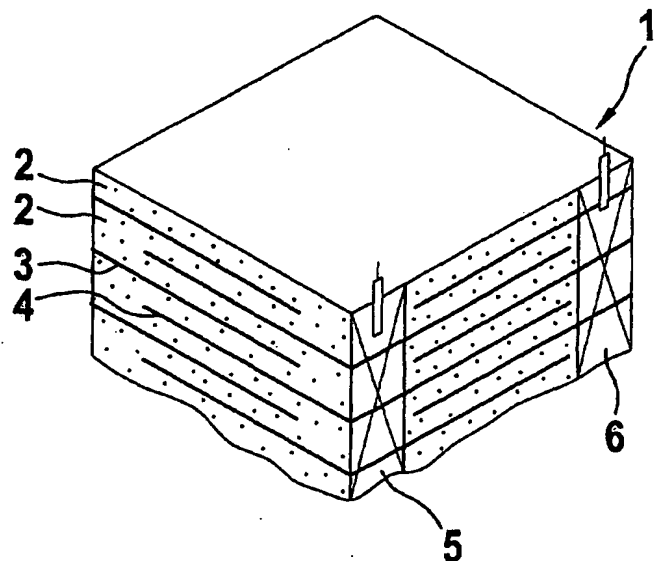
DE	196 46 511 C1
DE	196 26 671 C1
DE	198 02 302 A1
DE	41 32 723 A1
DE	41 05 997 A1
US	44 71 256
WO	97 36 365 A1
JP	04-91 664 A

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Piezoaktor

57 Es wird ein Piezoaktor, beispielsweise zur Betätigung eines mechanischen Bauteils, vorgeschlagen, bei dem ein Mehrschichtaufbau von Piezolagen (2) und dazwischen angeordnete Innenelektroden (3, 4; 11, 12; 21, 22) vorhanden sind, die derart in die Piezolagen (2) eingegraben sind, dass sie in einem vorgegebenen Bereich nicht bis an die Außenseite des Piezoaktors (1; 10; 18) heranreichen. Es ist eine von Schicht zu Schicht wechselnde Kontaktierung der Innenelektroden (3, 4; 11, 12; 21, 22) mit Außenelektroden vorgesehen, wobei die Kontaktierung jeweils in dem Bereich erfolgt, in dem in der jeweils benachbarten Schicht keine Innenelektrode (3, 4; 11, 12; 21, 22) an die Außenseite herangeführt ist.



Die Erfindung betrifft einen Piezoaktor, beispielsweise zur Betätigung eines mechanischen Bauteils wie ein Ventil oder dergleichen, nach den gattungsgemäßen Merkmalen des Hauptanspruchs.

Es ist allgemein bekannt, dass unter Ausnutzung des sogenannten Piezoeffekts ein Piezoelement aus einem Material mit einer geeigneten Kristallstruktur aufgebaut werden kann. Bei Anlage einer äußeren elektrischen Spannung erfolgt eine mechanische Reaktion des Piezoelements, die in Abhängigkeit von der Kristallstruktur und der Anlagebereiche der elektrischen Spannung einen Druck oder Zug in eine vorgebbare Richtung darstellt. Aufgrund dieses extrem schnellen und genau regelbaren Effektes können solche Piezoaktoren zum Bau von Stellern, beispielsweise für den Antrieb von Schaltventilen bei Kraftstoffeinspritzsystemen in Kraftfahrzeugen vorgesehen werden. Hierbei wird die spannungs- oder ladungsgesteuerte Auslenkung des Piezoaktors zur Positionierung eines Steuerventils genutzt, das wiederum den Hub einer Düsenadel regelt. Ein großer Vorteil der Piezoaktoren ist dabei die Realisierung präziser und sehr schneller Auslenkungen mit hohen Kräften.

Da die erforderlichen elektrischen Feldstärken zur Betätigung des Piezoaktors im Bereich von mehreren kV/mm liegen und in der Regel moderate elektrische Spannungen zur Ansteuerung gewünscht sind, kann der Aufbau dieses Piezoaktors hier in mehreren Schichten erfolgen (Multilayer-Aktoren), deren Dicke typischer Weise 60 bis 120 µm betragen, wobei die Innenelektroden, über die die elektrische Spannung aufgebracht wird, jeweils zwischen den Schichten, z. B. mit einem Druckverfahren, aufgebracht werden.

#### Vorteile der Erfindung

Der eingangs beschriebene Piezoaktor, der beispielsweise zur Betätigung eines mechanischen Bauteils verwendbar sein kann, ist, wie erwähnt, mit einem Mehrschichtaufbau von Piezolagen und dazwischen angeordneten Elektroden aufgebaut. In vorteilhafter Weise weist der erfindungsgemäße Piezoaktor Innenelektroden auf, die derart in die Piezolagen eingegraben sind, dass sie in einem vorgegebenen Bereich nicht bis an die Außenseite des Piezoaktors herantreten. Bei einer von Schicht zu Schicht wechselnden Kontaktierung der Innenelektroden mit Außenelektroden erfolgt die jeweilige Kontaktierung in dem Bereich, in dem in der jeweils benachbarten Schicht keine Innenelektrode an die Außenseite herangeführt ist.

Das vorteilhafte Eingraben der Innenelektroden erfolgt beim Zusammensintern der Keramik des Piezoaktors, wobei insbesondere an der Außenfläche die Gefahr des Eindringens von Feuchtigkeit deutlich reduziert und damit die Lebensdauer des Piezoaktors erhöht ist. Dadurch, dass die Innenelektroden in weiten Bereichen nicht an die Außenseite des Piezoaktors herangeführt sind, erfolgt beim Schneiden der Grünfolie als Ausgangsmaterial für die Piezolagen, kaum oder kein Trennen durch das metallische Material der Innenelektroden hindurch. Dadurch wird das Verschmieren von Metallpartikeln und somit die Kurzschlussgefahr reduziert, wodurch die Zuverlässigkeit des Piezoaktors erhöht wird und keine zusätzliche Isolierung der Innenelektroden durch Lack oder ähnliches notwendig ist.

Wenn bei einer vorteilhaften Ausführungsform die Außenelektroden jeweils auf einer Seite des Piezoaktors angebracht sind, kann eine einfache Herausführung der Kontakte zu einem Stecker erfolgen und es ist bei geringem Ferti-

gungsaufwand nur eine einseitige Kontaktierung bzw. Metallisierung auf der Außenelektrodenfläche notwendig.

Bei weiteren vorteilhaften Ausführungsformen sind die Außenelektroden jeweils auf gegenüberliegenden Seiten des Piezoaktors angebracht, bzw. sind die Außenelektroden jeweils auf diagonal gegenüberliegenden Seiten des Piezoaktors angeordnet. Auch eine Anordnung auf benachbarten Seiten oder auch auf beliebigen Seiten ist auf einfache Weise, je nach Anwendungsfall, anwendbar. Hierbei kann entweder eine symmetrische oder eine asymmetrische Anordnung der Innenelektrodenfläche hinsichtlich der ausgesparten Bereiche gewählt werden, so dass die jeweils anders gepolte Elektrode aus einer Spiegelung oder Drehung der ersten Elektrode hervorgeht.

Die Schichtgeometrie und damit die Grundkontur des Piezoaktors können in vorteilhafter Weise rechteckig, insbesondere auch quadratisch aufgebaut sein. Jedoch sind hier auch dreieckige, sechseckige oder sonstige beliebige Vierecke je nach Anwendungsfall in vorteilhafter Weise einsetzbar. Die Schichtendes Piezoaktors können darüber hinaus auch rund oder oval aufgebaut sein.

Bei einem bevorzugten Ausführungsbeispiel sind die Schichten des Piezoaktors hexagonal aufgebaut. Hierbei können die Piezolagen mit den eingegrabenen Innenelektroden auf einfache Weise aus einer Grünfolie herausgetrennt werden, wobei ein weitgehend zusammenhängendes Drucklayout für die Innenelektroden herstellbar ist. Bei dieser Ausführung ergibt sich eine sehr dicht gepackte Anordnung der Einzellagen auf der Grünfolie als Ausgangsmaterial, wodurch sich ein relativ geringer Materialverlust beim Heraustrennen, d. h. beim Schneiden, Sägen oder Stanzen, aus der Grünfolie ergibt. Der Piezoaktor hat damit eine annähernd runde Außengeometrie und besitzt eine optimale Räumausfüllung bei einer Anwendung in Bauteilen mit runder Querschnittsgeometrie, wie z. B. bei Einspritzventilen für Verbrennungsmotoren in Kraftfahrzeugen.

In vorteilhafter Weise kann im Piezoaktor in Richtung des Mehrschichtaufbaus eine Innenbohrung vorhanden sein. Hierdurch kann mittels einer innenliegenden Stange nicht nur eine Kraft in Druckrichtung sondern auch eine Zugkraft bei einer Betätigung des Piezoaktors ausgenutzt werden. Außerdem ist hierbei auch ein elektrischer Anschluss einer der Außenelektroden im Inneren der Bohrung möglich.

Diese und weitere Merkmale von bevorzugten Weiterbildungen der Erfindung gehen außer aus den Ansprüchen auch aus der Beschreibung und den Zeichnungen hervor, wobei die einzelnen Merkmale jeweils für sich allein oder zu mehreren in Form von Unterkombinationen bei der Ausführungsform der Erfindung und auf anderen Gebieten verwirklicht sein und vorteilhafte sowie für sich schutzfähige Ausführungen darstellen können, für die hier Schutz beansprucht wird.

#### Zeichnung

Ausführungsbeispiele des erfindungsgemäßen Piezoaktors werden anhand der Zeichnung erläutert. Es zeigen:

**Fig. 1** eine Ansicht eines Piezoaktors mit einem Mehrschichtaufbau von Lagen aus Piezokeramik mit an einer Seite angebrachten Außenelektroden;

**Fig. 2 und 3** eine schematische Draufsicht auf zwei abwechselnd im Stapelaufbau übereinander liegenden Piezolagen und eine Projektion beider Piezolagen nach der **Fig. 1** mit unterschiedlich ausgesparten Bereichen der Innenelektroden und einer einseitigen Kontaktierung der Außenelektroden;

**Fig. 4 und 5** eine Abwandlung des Aufbaus nach den vorherigen Figuren mit einer kreisausschnittsförmig gestalteten

Innenelektrodengeometrie und gegenüberliegenden Außenelektroden;

Fig. 6 bis 9 eine Abwandlung des Aufbaus nach den vorherigen Figuren mit einer Innenelektrodengeometrie, bei der relativ große Seitenbereiche der Innenelektroden ausgespart sind und gegenüberliegende Außenelektroden vorhanden sind;

Fig. 10 eine Abwandlung des Aufbaus nach den vorherigen Figuren mit relativ kleinen im abwechselnden Schichtaufbau nah beieinanderliegenden ausgesparten Bereichen;

Fig. 11 bis 13 eine Abwandlung des Aufbaus nach den vorherigen Figuren mit einer runden Geometrie des Piezoaktors;

Fig. 14 eine Abwandlung des Aufbaus nach den vorherigen Figuren mit einem rechteckigen Piezoaktor und relativ nah beieinanderliegenden Außenelektroden auf einer Seite;

Fig. 15 eine Abwandlung des Aufbaus nach den vorherigen Figuren mit einer an den Kontaktierungen der Außenelektroden abgeschrägten Geometrie des Piezoaktors;

Fig. 16 eine Abwandlung des Aufbaus nach den vorherigen Figuren mit einem hexagonalen Piezoaktor und

Fig. 17 eine Ansicht einer Grünfolie als Grundmaterial der Piezolagen nach der Fig. 16 mit einem Druck- und Standlayout für die eingegrabenen Innenelektroden vor dem Heraustrennen aus der Folie.

### Beschreibung der Ausführungsbeispiele

In Fig. 1 ist ein Piezoaktor 1 gezeigt, der in an sich bekannter Weise aus Piezolagen 2 eines Keramikmaterials mit einer geeigneten Kristallstruktur aufgebaut ist, so dass unter Ausnutzung des sogenannten Piezoeffekts bei Anlage einer äußeren elektrischen Gleichspannung an Innenelektroden 3 und 4 über außen kontaktierte Elektroden 5 und 6 eine mechanische Reaktion des Piezoaktors 1 erfolgt.

In der Fig. 1 sind nur einige Innenelektroden 3 und 4 schematisch angedeutet und die Außenelektroden 5 und 6 sind als flächige Elektroden ausgeführt, wobei jeweils eine Außenelektrode 5 oder 6 an Kontaktstellen mit jeweils den, die gleiche Polarität aufweisenden Innenelektroden 2 oder 3, kontaktiert sind. Die eingegrabenen Innenelektroden 3 und 4 sind jeweils abwechselnd in den Bereichen, an denen sie nicht mit einer Außenelektrode 5 oder 6 kontaktiert sind, durch einen ausgesparten Bereich nach innen versetzt.

Aus Fig. 2 ist links eine Ansicht der Innenelektrode 4, beispielsweise der Pluspol, erkennbar, bei der oben ein ausgesparter Bereich 7 und unten die Kontaktierung der Außenelektrode 5 ersichtlich ist. In der Mitte ist eine Ansicht der Innenelektrode 3, beispielsweise der Minuspol, erkennbar, bei der unten ein ausgesparter Bereich 8 und oben die Kontaktierung der Außenelektrode 6 ersichtlich ist. Rechts ist eine Projektion der Ansichten der beiden Innenelektroden 3 und 4 gezeigt, bei der die ausgesparten Bereiche 7 und 8 und die Kontaktierungen der Außenelektroden 5 und 6 erkennbar sind.

In Fig. 3 ist eine zu der Fig. 2 etwas veränderte Geometrie der ausgesparten Bereiche 7 und 9 gezeigt.

Aus Fig. 4 ist links eine Ansicht einer Innenelektrode 4 mit kreisabschnittsförmiger Geometrie erkennbar, bei der rechts oben der ausgesparte Bereich 7 und links unten die Kontaktierung der Außenelektrode 5 ersichtlich ist. Die Innenelektrode 3 ist zur Innenelektrode 4 spiegelbildlich gestaltet und weist links unten den ausgesparten Bereich 8 und rechts oben die Kontaktierung der Außenelektrode 6 auf. In der Projektion liegen sich die Kontaktierung der Außenelektroden 5 und 6 nach der Fig. 4 damit diagonal gegenüber.

Fig. 5 zeigt eine Abwandlung der Fig. 4 mit sich auf einer Seite gegenüberliegenden Außenelektroden 5 und 6.

Ausführungsbeispiele nach Fig. 9 und 7 zeigen Geometrien der Innenelektroden 3 und 4, bei denen weite Bereiche des Randreichs ausgespart sind und die jeweils diagonal gegenüberliegenden Außenelektroden 5 und 6 aufweisen. Hierzu unterschiedlich sind Ausführungsbeispiele nach Fig. 8 und Fig. 9 mit einer abgerundeten Geometrie der Innenelektroden 3 und 4 versehen, bei denen die Außenelektroden 5 und 6 jeweils sich gegenüberliegend in der Mitte jeweils einer Seitenfläche angeordnet sind.

Fig. 10 zeigt ein Ausführungsbeispiel mit relativ dicht beieinanderliegenden Außenelektroden 5 und 6 auf einer Seite des Piezoaktors 1 und mit kleinen ausgesparten Bereichen der Innenelektroden 3 und 4.

Fig. 11, Fig. 12 und Fig. 13 zeigen jeweils Ausführungsbeispiele eines Piezoaktors 10 mit runder Kontur und entsprechend runden Geometrien von Innenelektroden 11 und 12; die Außenelektroden 5 und 6 sind jeweils gegenüberliegend kontaktiert. Bei den Fig. 12 und 13 ist eine Innenbohrung 13 vorhanden; hierdurch kann mittels einer innenliegenden, hier nicht dargestellten, Stange nicht nur eine Kraft in Druckrichtung sondern auch eine Zugkraft bei einer Betätigung des Piezoaktors 10 ausgenutzt werden. Außerdem ist gemäß der Fig. 13 hierbei auch ein elektrischer Anschluss einer Außenelektrode 14 an eine der Innenelektroden 11 oder 12 im Inneren der Bohrung 13 möglich, wobei eine Außenelektrode 15 in der oben erwähnten Weise außen kontaktiert wird.

Bei einem Ausführungsbeispiel nach Fig. 14 sind bei einer rechteckigen, nicht quadratischen Kontur des Piezoaktors 1 die Außenelektroden 5 und 6 an stegförmig herausgeführten Bereichen der Innenelektroden 3 und 4 an einer Seite angeordnet. Ein Piezoaktor 16 mit an abgeschrägten Ecken angebrachten Außenelektroden 17 und 18 ist aus Fig. 15 zu entnehmen.

Nach Fig. 16 und Fig. 17 wird ein Piezoaktor 18 mit einer hexagonalen Kontur aufgebaut, wobei Außenelektroden 19 und 20 an Stege der Innenelektroden 21 und 22 angeschlossen worden. Die Fig. 17 zeigt dabei eine Ansicht einer Grünfolie 23 als Grundmaterial der Piezolagen mit einem Druck- und Standlayout für die eingegrabenen Innenelektroden 21 und 22 vor dem Heraustrennen aus der Folie.

### Patentansprüche

1. Piezoaktor, mit
  - einem Mehrschichtaufbau von Piezolagen (2) und dazwischen angeordneten Innenelektroden (3, 4; 11, 12; 21, 22) die derart in die Piezolagen (2) eingegraben sind, dass sie in einem vorgegebenen Bereich nicht bis an die Außenseite des Piezoaktors (1; 10; 18) heranreichen und mit
  - einer von Schicht zu Schicht wechselnden Kontaktierung der Innenelektroden (3, 4; 11, 12; 21, 22) mit Außenelektroden, wobei die Kontaktierung jeweils in dem Bereich erfolgt, in dem in der jeweils benachbarten Schicht keine Innenelektrode (3, 4; 11, 12; 21, 22) an die Außenseite herangeführt ist.
2. Piezoaktor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass
  - die Außenelektroden (5, 6, 14, 15; 17, 18; 19, 20) jeweils auf einer Seite des Piezoaktors (1) angebracht sind.
3. Piezoaktor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass
  - die Außenelektroden (5, 6; 17, 18) jeweils auf gegenüberliegenden Seiten des Piezoaktors (1) angebracht sind.

4. Piezoaktor nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass
- die Außenelektroden (5, 6; 17, 18) jeweils auf diagonal gegenüberliegenden Seiten des Piezoaktors (1) angebracht sind.
5. Piezoaktor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
- die Schichten des Piezoaktors (1) rechteckig, insbesondere auch quadratisch aufgebaut sind.
6. Piezoaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass
- die Schichten des Piezoaktors (10) eine runde Kontur aufweisen.
7. Piezoaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass
- die Schichten des Piezoaktors (18) eine hexagonale Kontur aufweisen.
8. Piezoaktor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
- im Piezoaktor (10) in Richtung des Mehrschichtaufbaus eine Innenbohrung (13) vorhanden ist.
9. Piezoaktor Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass
- die Piezolagen (2) mit den eingegrabenen Innenelektroden (21, 22) aus einer Grünfolie (23) mit flächig ineinander verschachtelten Einzella-  
gen herausgetrennt sind, wobei ein weitgehend  
zusammenhängendes Drucklayout für die Innen-  
elektroden (21, 22) herstellbar ist.

---

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

---

35

40

45

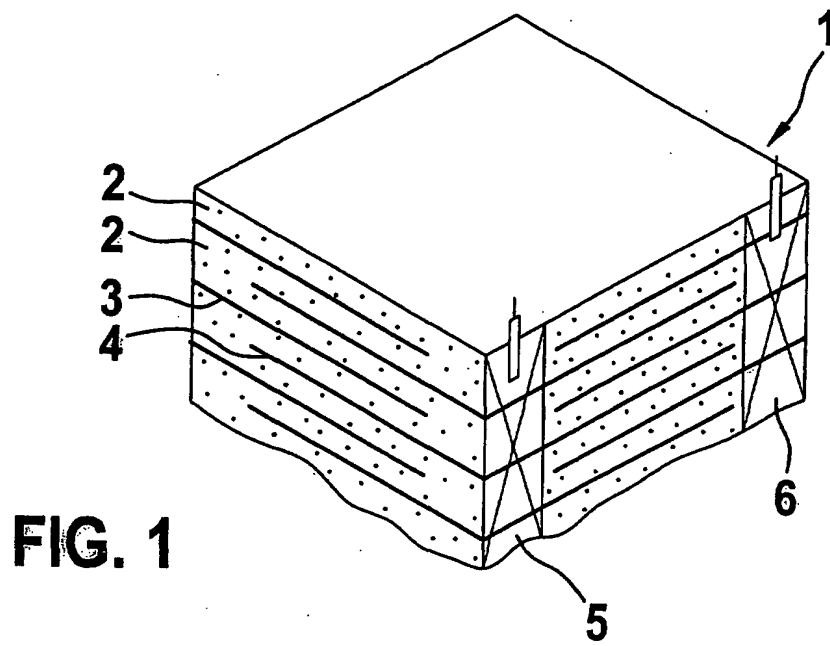
50

55

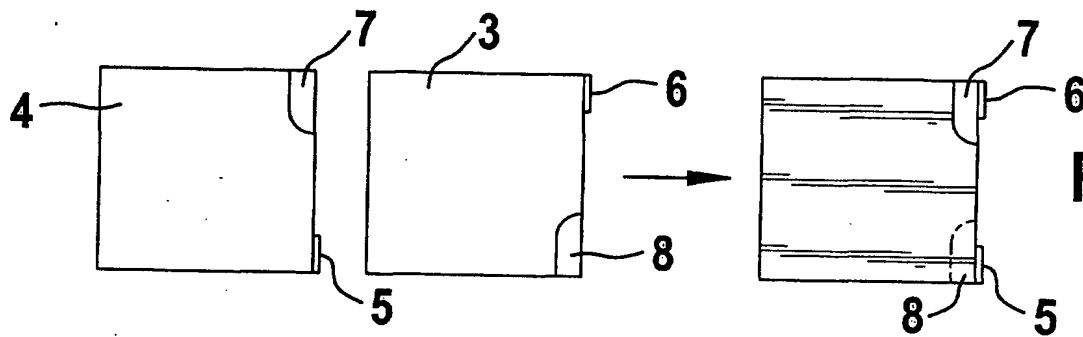
60

65

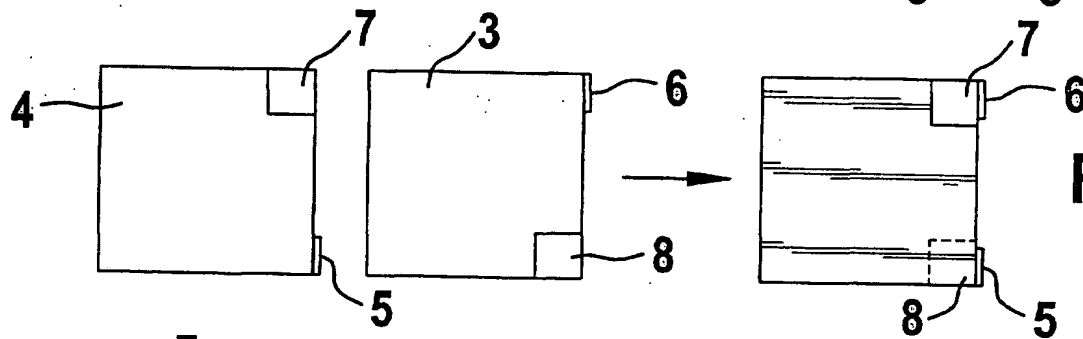
- Leerseite -



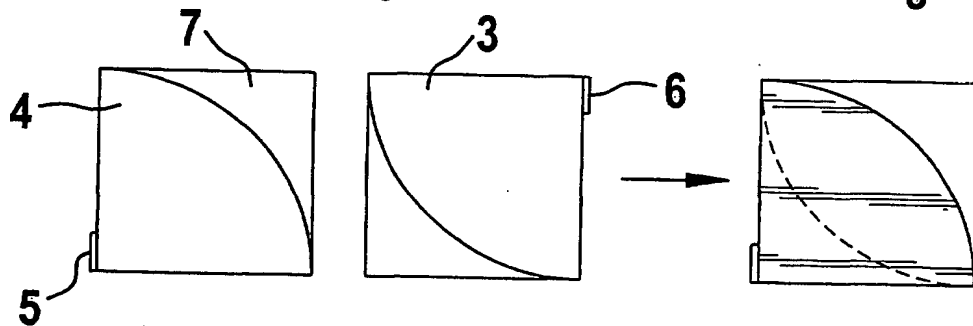
**FIG. 1**



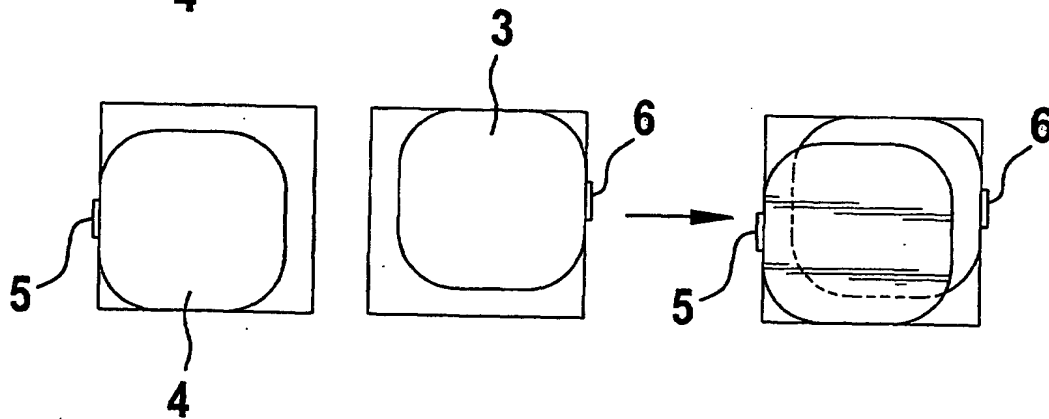
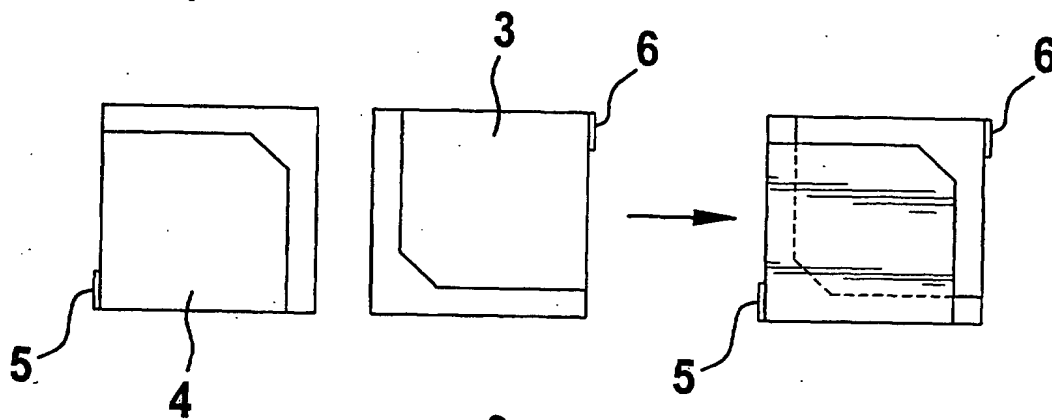
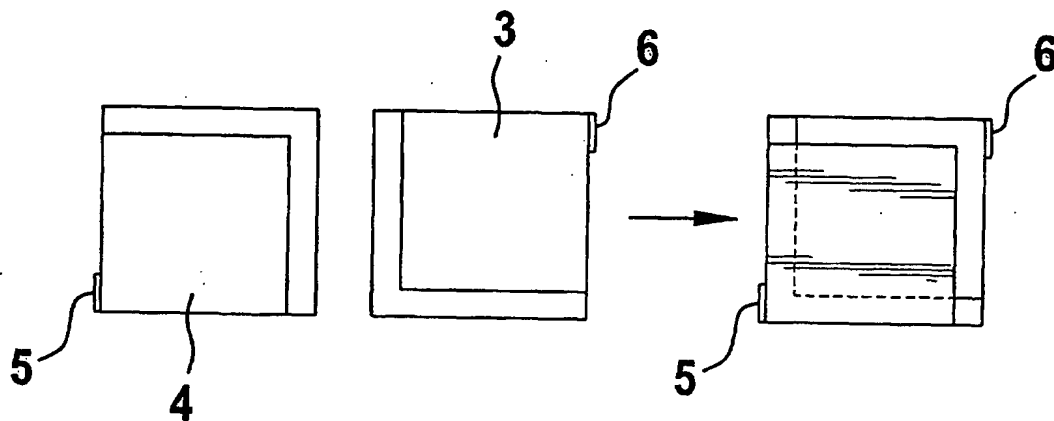
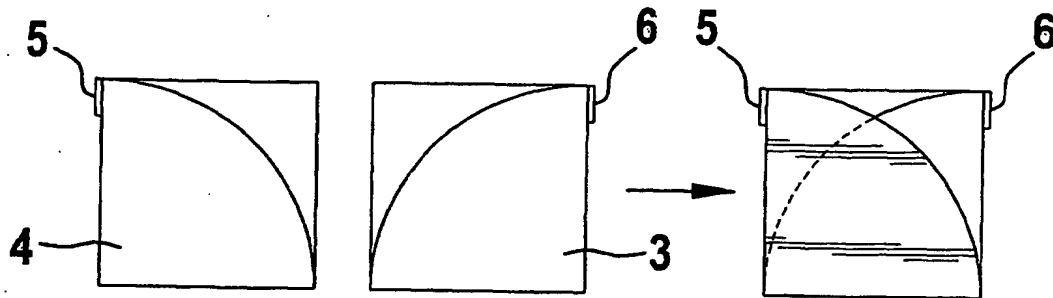
**FIG. 2**

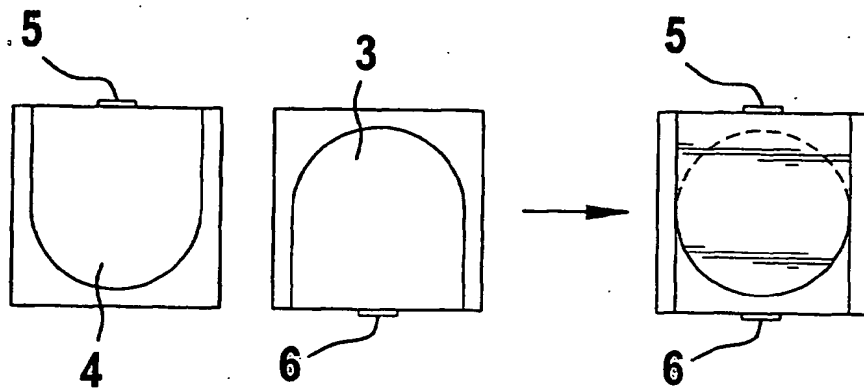


**FIG. 3**

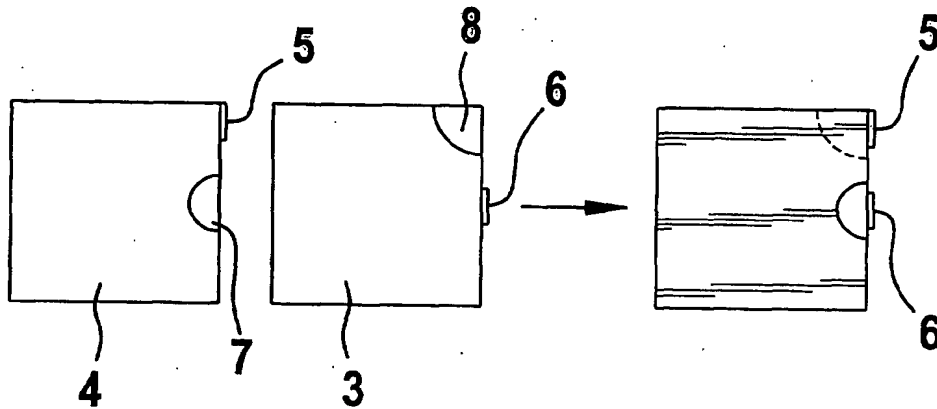


**FIG. 4**

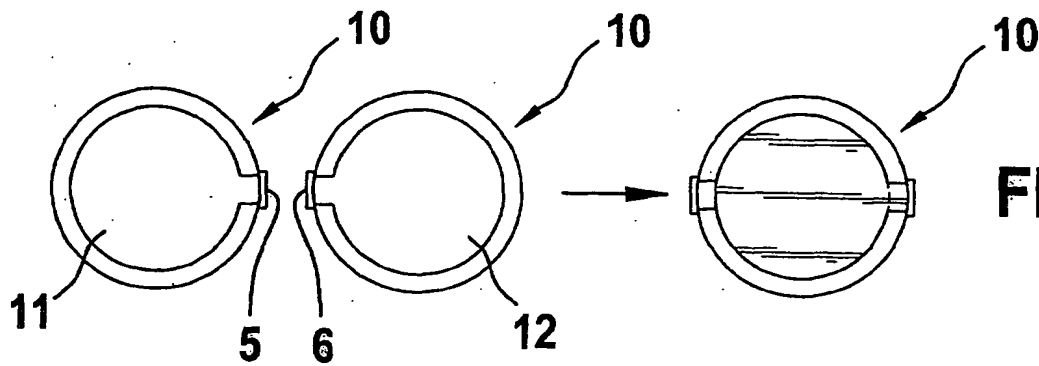




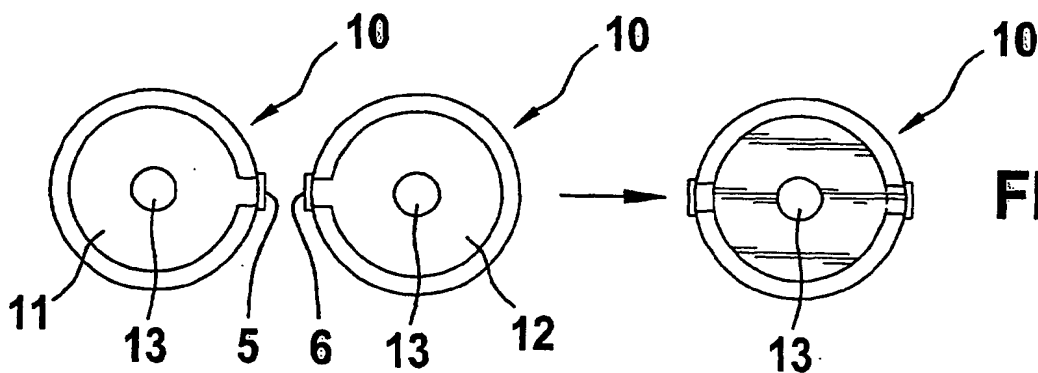
**FIG. 9**



**FIG. 10**



**FIG. 11**



**FIG. 12**



